近45 a来我国防沙治沙研究主要进展演变及展望
——基于Citespace的文献可视化分析

王新友[1]，　马全林[2]
（1. 甘肃开放大学，甘肃 兰州　730030；2. 甘肃省林业科学研究院，甘肃 兰州　730030）

摘　要：防沙治沙是我国当前“三北”工程建设的主攻方向，是筑牢西部生态安全屏障的重要举措。为推进防沙治沙关键技术研究，支撑荒漠化综合防治和“三北”等重点生态工程建设，基于Citespace软件及传统文献归纳方法，梳理了三北工程实施45 a来我国防沙治沙研究成果，对防沙治沙研究文献总体特征、热点演变、存在问题与研究不足等进行了分析。分析发现：(1) 防沙治沙相关的中英文发文总量持续增长，国际影响力逐渐增强，研究具有多学科、交叉性等特点。(2) 近45 a来经历了1978—2000、2001—2012、2013—2023年3个时段的演变，一阶段重点关注土地沙漠化成因、土地退化动态的辨识；二阶段重点关注人工固沙造林等人类行为活动对防沙治沙所产生的成效评价；三阶段重点关注产业化治沙和自然修复等实现沙化土地治理的可持续发展研究。(3) 研究内容主要包括了土地沙漠化驱动因素及其机理、治理措施与模式、政策与法律法规、防沙治沙理念演变4方面。(4) 当下的研究面临着流沙快速固定、治沙新材料新技术新模式、生物多样性保护、生态服务功能价值化、沙产业发展、政策机制等方面的问题，未来需要从土地利用及其设计、治沙装备研发、沙产业与生态产品开发、政策机制完善、治沙关键技术创新和推广等多方面进行探索。

关 键 词：防沙治沙；荒漠化防治；Citespace；热点演变；“三北”工程
文章编号：1000－6060(2025)02－0234－13(0234～0246)

土地荒漠化是影响人类生存和发展的全球性重大生态环境问题[1]，我国是受荒漠化和沙化危害最为严重的国家之一[2]。防沙治沙被列为国家行动[3]，已开展了70多年的实践和探索，先后经历了“全民动员、进军沙漠”的萌芽起步阶段、“国家意志、工程带动”的初步发展阶段和“以外促内、全面提速”的稳步推进发展阶段[4]，取得了巨大成就[5]，沙区生态状况明显改善[6]，沙漠生态系统服务增效。防沙治沙成就的取得离不开科技创新支撑，学界相继开展了相关本底调查以监测与评价沙漠化发展的趋势与程度[7]，并试图探明沙化原因和驱动力[8]，进而研发了包括绿洲防护、文物保护、铁路和水库等基础设施建设等治理技术和模式[9-11]，有力支撑了全国防沙治沙工程。

在全球气候变化背景下，我国土地沙化依然严重，治理难度还很艰巨。根据第六次荒漠化与沙化监测结果，我国沙化土地面积达1.69×10^5 km^2，占国土面积的17.58%[12]，严重影响国家的生态安全和社会经济可持续发展[3]。2023年6月6日，习近平总书记在内蒙古自治区巴彦淖尔市主持召开加强荒漠化综合防治和推进“三北”等重点生态工程建设座谈会上指出，要以防沙治沙为主攻方向，力争用10 a左右时间，打一场“三北”工程攻坚战，把“三北”工程建设成为功能完备、牢不可破的北疆绿色长城、生态安全屏障。讲话充分肯定了防沙治沙的突出作用，指明了防沙治沙的发展目标和努力方向。因

收稿日期：2024-05-31；　**修订日期：**2024-11-28
基金项目：国家自然科学基金(32160410)；甘肃省生态文明建设重点研发专项(24YFFA040)；甘肃省林业和草原科技创新项目资助
作者简介：王新友(1981-)，男，博士，教授，主要从事荒漠生态学、草业经济与社会发展、乡村振兴相关研究. E-mail: wangxiny@gsou.edu.cn
通讯作者：马全林(1974-)，男，博士，研究员，主要从事荒漠生态恢复研究. E-mail: mql925@126.com

此，很有必要梳理我国防沙治沙研究成果，以指导防沙治沙的相关研究，有力支撑沙漠化综合防治和“三北”等重点生态工程建设。

前期相关研究多采用传统的综述写作手法，梳理归纳国家[4,9]、某一区域[11]、某一工程尺度下的防沙治沙研究进展[10-11]，或者聚焦于防沙治沙某一技术领域的研究进展[13-14]，未引入文献计量的方法进行归纳。利用文献计量方法，引入知识图谱分析，梳理防沙治沙的研究进展，则仅研究了沙障、沙产业、土地沙漠化与生态修复相关方面[13,15-16]。这些综述有力促进了防沙治沙研究的发展。但总体来看，在全国范围内针对防沙治沙进行系统梳理的研究尚不多见。特别是，利用文献计量图谱分析方法分析防沙治沙的基本内容和问题，全面科学地梳理防沙治沙的研究脉络，并展望未来发展趋势的研究综述未见报道，这不利于防沙治沙研究的进一步深入和发展。基于此，本文利用Citespace软件对“三北”工程实施以来（1978—2023年）我国防沙治沙相关文献进行系统性分析，同时梳理该领域的重要研究进展，一方面旨在帮助研究者们更好地把握该领域的动态变化和发展趋势，另一方面为“三北”工程建设等提供技术支撑。

1 方法、数据及文献特征

1.1 研究方法

本文选取常用的文献计量分析软件Citespace作为主要的分析工具[17]，利用其关键词共现、关键词突现等功能进行分析和知识图谱制作，可视化防沙治沙的演化路径、研究前沿和热点。

1.2 数据来源及处理方法

本文以中国知网（CNKI）和SCI引文数据库（WOS）为样本数据库。文献检索于2024年1月7日进行。考虑到北大核心始于1992年，而本文的研究开始于“三北”工程元年1978年，在CNKI文献检索中，分1978—1991年和1992—2023年两部分进行；中文检索式均为“SU%=沙化土地封禁保护 OR SU%=固沙林 OR SU%=沙害防治 OR SU%=治沙技术 OR SU%=治沙模式 OR SU%=沙产业 OR SU%=荒漠化防治 OR SU%=沙漠化防治 OR SU%=沙化土地治理 OR SU%=防沙治沙 OR SU%=绿洲防护林 OR SU%=流沙固定 OR SU%=机械沙障 OR SU%=防治荒漠化”。对于1978—1991年部分，首先在CNKI中通过高级检索功能，来源类别选择“学术期刊”的全部期刊，设置检索时间为1978年1月1日至1991年12月31日；初次得到检索记录119条，通过手动剔除的方式，剔除1992年不在北大核心、SCI、EI、CSSCI、CSCD、AMI收录期刊的文献以及与防沙治沙不相关的沙漠化研究文献，以及会议、无作者、征稿简则、学者介绍、资讯等，最终得到符合条件论文为66篇。对于1992—2023年部分，在CNKI中通过高级检索功能，来源类别选择“学术期刊”的SCI、EI、北大核心、CSSCI、CSCD、AMI期刊，设置检索时间为1992年1月1日至2023年12月31日；初次得到检索记录1429条，通过手动剔除的方式，剔除会议、无作者、征稿简则、学者介绍、资讯等，最终得到符合条件论文为1298篇。在WOS中选择Web of Science核心合集以英文检索式“((((((((((((((((((((((((((((((((((TI=(combating desertification)) OR TI=(desertification combating)) OR TI=(preventing desertification)) OR TI=(desertification control)) OR TI=(desertification land control)) OR TI=(desertified land restoration)) OR TI=(harnessing desertified land)) OR TI=(prevention and control of aeolian desertification)) OR TI=(desertification prevention and control)) OR TI=(desert control)) OR TI=(oasis shelter forest)) OR TI=(shelterbelts in oases)) OR TI=(sand fixation)) OR TI=(mobile dunes stabilization)) OR TI=(shifting sand stabilization)) OR TI=(sand barrier)) OR TI=(mechanical sand barriers)) OR TI=(desertification prevention and combat)) OR TI=(desertification land enclosure protection)) OR TI=(enclosure-rehabilitation of desertification land)) OR TI=(enclosed protection of desertified land)) OR TI=(artificial sand-fixing vegetation)) OR TI=(sand-fixing forest)) OR TI=(sand fixation plantations)) OR TI=(sand fixation forest)) OR TI=(disaster prevention)) OR TI=(sand disaster controlling)) OR TI=(sand control)) OR TI=(controlling aeolian hazard)) OR TI=(sandy disaster reduction)) OR TI=(desert control)) OR TI=(sand control technology)) OR TI=(sand control measure)) OR TI=(prevent and control sand)) OR TI=(desert control pattern)) OR TI=(desert control way)) OR TI=(sand industries))”进行检索，在检索结果中筛选研究区为中国的论文，得到611条记录。将这中英文两部分文献

数据分别导出，在Citespace中进行去重处理，最终得到符合条件的中英文文献分别为1296篇和610篇。再在Citespace软件中建立新的工程文件，对其进行计量分析。

1.3 文献总体特征

从CNKI、WOS年度发文量看(图1)，1978—2023年防沙治沙相关研究发文量整体上呈增长趋势，表明其受关注度在不断增强。从发文时间看，中文明显早于英文，中文主要开始于1979年，而英文主要开始于1985年。从发文数量看，早期中文更多，后期英文更多，2015年英文发文量首次超越中文，而在2019年之后的年发文量更是英文显著大于中文。这表明我国防沙治沙研究成果早期以中文呈现的多，在国际上的影响力后期逐渐增强。从发文期刊看，尽管《农业工程学报》《科学通报》《地理学报》《地理研究》《中国科学》《地球科学进展》等刊物均有防沙治沙相关的文章发表，但是从文献计量分析角度来看，中文发文期刊主要是《中国沙漠》《干旱区资源与环境》《水土保持研究》等；英文发文期刊主要是《Sustainability》《Disaster Advances》《Forests》等，整体而言发文期刊影响因子相对都较弱。通过发文期刊可以看出，中英文研究成果集中在荒漠化防治工程学、水土保持工程学、林学、资源学等学科，其研究是多学科交叉的，具有林学、水土保持工程学、生态学等学科特点。

2 防沙治沙研究前沿与热点演进分析

2.1 研究热点共现性分析

利用Citespace分析中英文防沙治沙关键词聚类及时序演变图谱(图2~3)。图中，节点大小表示的是关键词出现的频次，节点越大，出现频次越多；节点的年轮圈代表不同年份发表论文的数量，某个年份的年轮越宽，则代表在相应的年份上出现的频次越大。图2~3出现频次较高的中文关键词有防沙治沙、荒漠化防治、荒漠化、沙产业、沙漠化、可持续发展、防风固沙林、固沙林、防治、成因、土壤微生物、生态工程、土壤性质、沙漠治理、生态恢复等；英文图谱节点较大的关键词有Behavior、Impact、Patterns、Community、Soil、Water、Vegetation、Field management、Desertification control、Grassland ecosystem stabilization、Combating desertification、Model、Dynamic、Diversity、Ecological restoration、Performance、Erosion、Nitrogen、Desertification、Land、Carbon stock等。从时间序列来看，2000年前，中文关键词较多，侧重荒漠化、沙漠化、荒漠化防治、沙产业等研究；英文关键词很少，主要是土壤水分、风蚀、大气沉

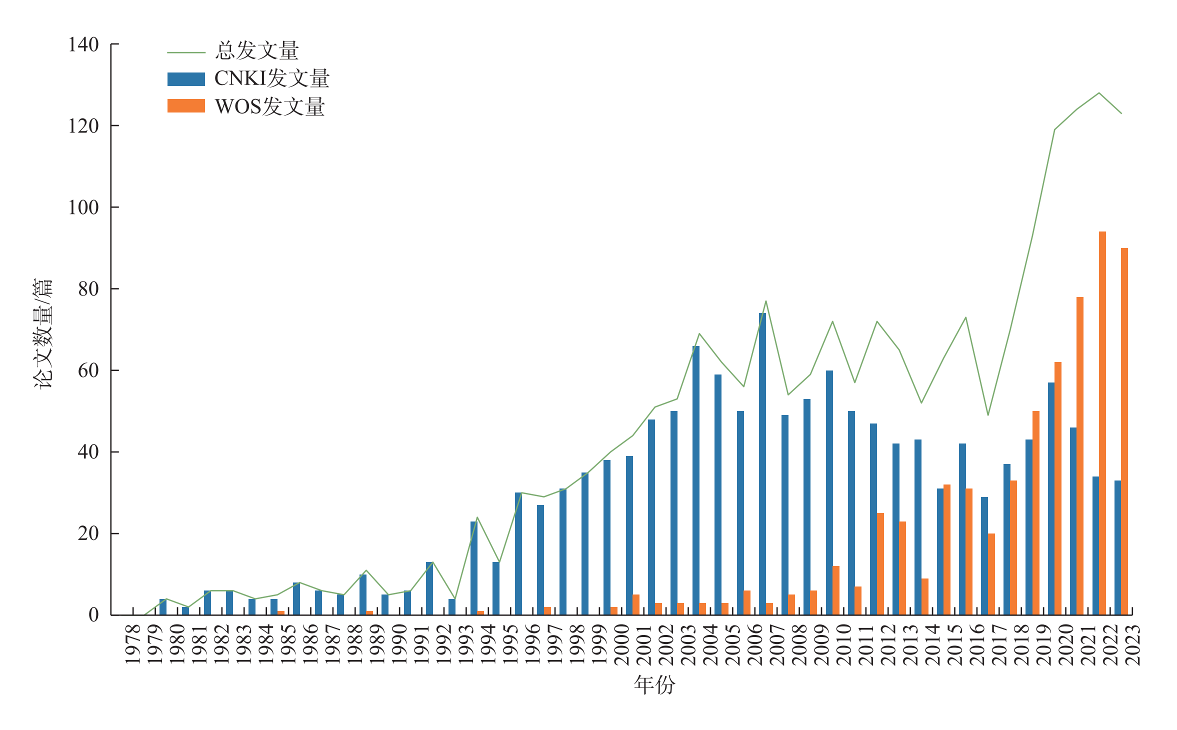


图1 防沙治沙发文数量分布

Fig. 1 Quantitative distribution of publications of desertification prevention and control

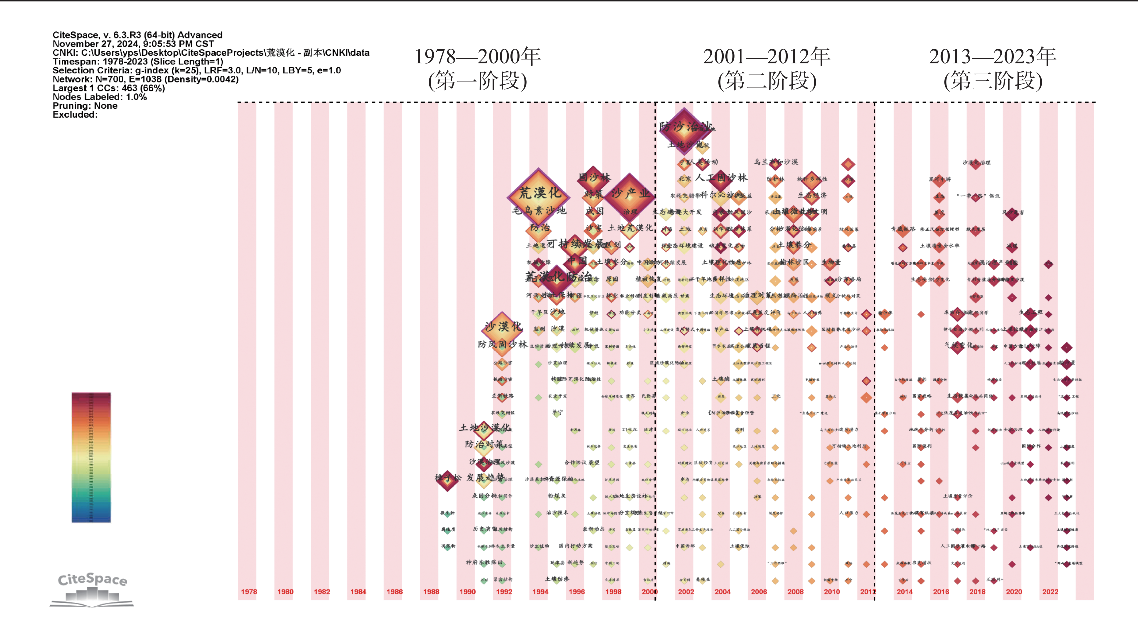
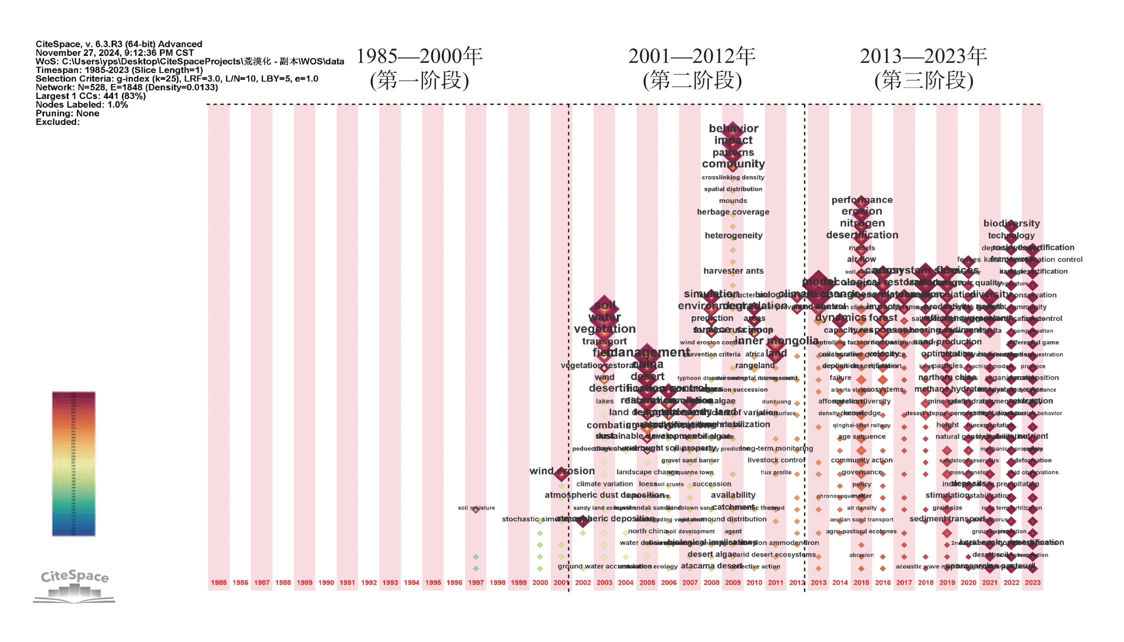


图2　防沙治沙中文关键词时序演变

Fig. 2　Temporal evolution of Chinese keywords in land use and ecological environment effects in desertification prevention and control



注：1978—1984无数据。

图3　防沙治沙英文关键词时序演变

Fig. 3　Temporal evolution of English keywords in land use and ecological environment effects in desertification prevention and control

降、地下水积累、随机模拟。2001—2012年中文关键词有所减少，主要是防沙治沙、沙障、分布格局、生态安全、农民增收、模式等；英文关键词非常丰富，主要是人为活动、负面影响、社区发展、水土资源、土地利用、植被保护修复、预测模型、土壤侵蚀等。2013年后，中文关键词较前一阶段有所增加，研究侧重于气候变化、生态工程、土壤性质、生态修复、低覆盖度治沙等；英文关键词更加丰富，生物多样性、碳固存、可持续发展等受到关注。

综上可见，随着科学技术和社会经济文化的发展变化，学者们对于防沙治沙的研究目标和内容不断深化。早期研究内容较为单一，聚焦于土地沙漠化成因、土地沙化动态的辨识，以及沙漠化防治技术和对策。随着研究的深入，考虑气候变化因素，科学家们在世界各地开启了使用土地利用变化的手段实施防沙治沙，进而实现生态环境治理、生物

多样性保护和碳固存。后期,学者们对不同生态工程的生态效益和生态系统的稳定性进行了监测评估,并评价了相应的法律法规和治理政策的实施效果,以构建健康、稳定、高效的防沙治沙体系,从而为优化生态补偿手段和研发更加先进、环保、高效的防沙治沙技术提供依据。

2.2　研究热点与发展趋势分析

由热点词突现性可得出研究热点和发展趋势[17]。图4分别展示了中英文突现词的前25和22位,突现性较强的关键词有荒漠化、沙漠化(沙化)、物种多

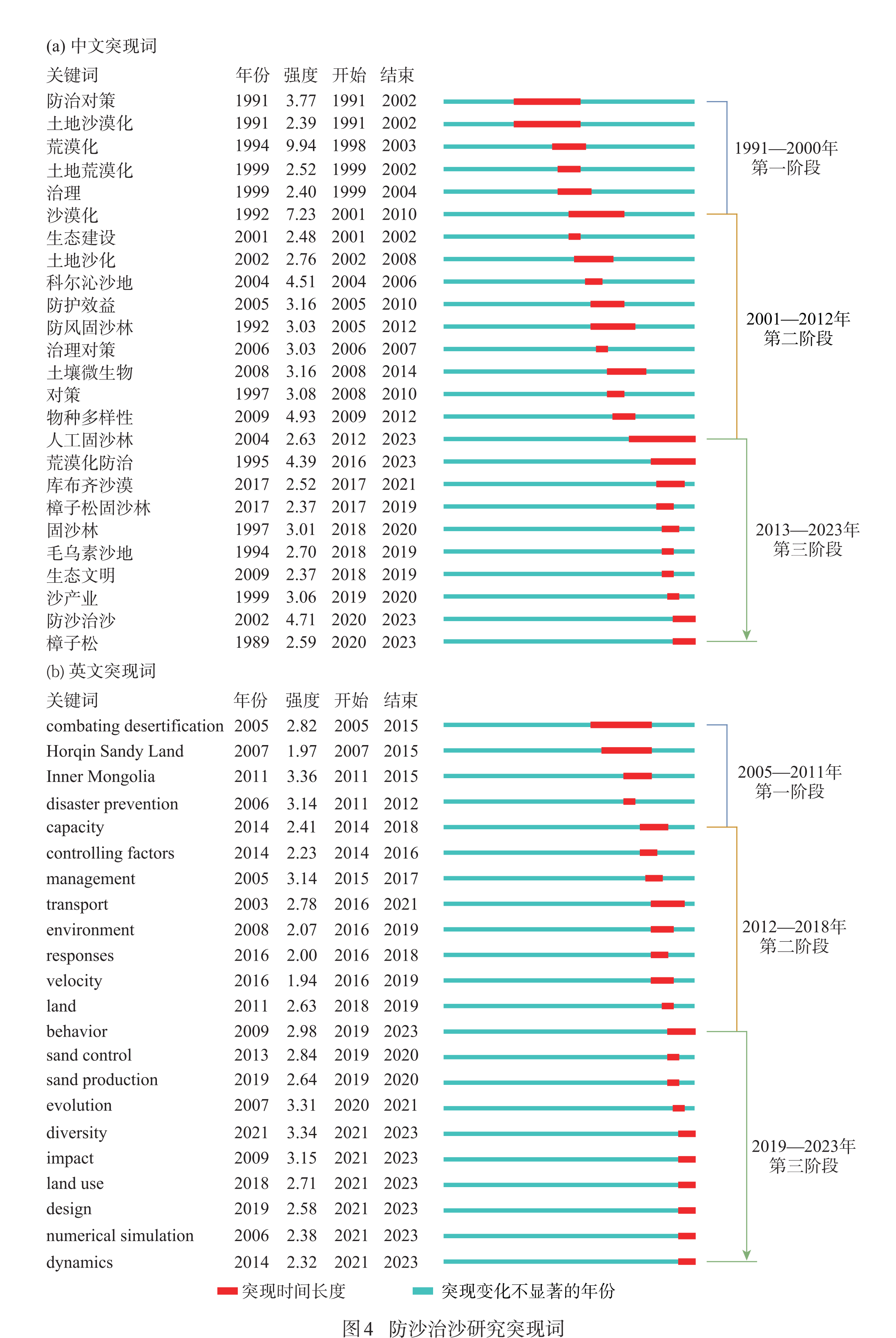


图4　防沙治沙研究突现词

Fig. 4　Emerging words in the study of land use and ecological environment effects in desertification prevention and control

样性、防沙治沙、Diversity、Evolution等。其中"荒漠化"在中文突现词中突现性最强，表明对荒漠化防治的研究是重点内容。从中文突现时间序列来看，2000年之前出现的突现词是荒漠化、沙漠化（沙化）、防治对策、土地沙漠化（土地沙化）、土地荒漠化和治理；2001—2012年出现的突现词有物种多样性、土壤微生物、防护效益、治理对策、人工固沙林、防风固沙林、土地沙化和生态建设；2013年之后的突现词为防沙治沙、荒漠化防治、固沙林、樟子松、沙产业、樟子松固沙林和生态文明。从英文突现时间序列来看，2005—2011年之间出现的突现词是Disaster prevention、Combating desertification；2012—2018年之间出现的突现词是Management、Land use、Transport、Capacity、Controlling factors、Environment、Responses、Velocity；2019年之后的突现词为Diversity、Evolution、Impact、Behavior、Sand control、Land use、Sand production、Numerical simulation、Dynamics。从突现词影响时期来看，2012年以后出现的突现词人工固沙林、荒漠化防治、防沙治沙、樟子松、Behavior、Impact、Land use、Numerical simulation、Dynamics一直延续到2023年，表明人工固沙林、防沙治沙新技术、人类活动影响、土地利用及其设计、动态变化和数字模拟是未来重点研究内容。从整个突现词变化中可以看出，我国防沙治沙始终关注更多的是荒漠化防治、治理对策、固沙林、沙产业等，而对于机械化防沙治沙技术、防沙治沙的生态和经济效益、防沙治沙可持续发展性的研究内容较少。

研究热点随时间变化，其主要原因或驱动力是国家政策[18]；国家政策被视为治理荒漠化的核心工具。国家荒漠化治理政策的制定和执行是基于一系列社会、经济和生态要素，与过去和未来都息息相关的动态过程。我国荒漠化治理的政策工具选择与使用随不同时期环境问题的特点以及政府决策注意力而变，由此引发了防沙治沙研究热点的变化。1978年国务院正式批复"三北"防护林体系建设工程，开启了我国以重大工程建设生态环境的序章，成为生态建设史上的里程碑事件。20世纪80年代，我国先后颁布了一系列保护及管理荒漠化地区自然资源的法律法规。20世纪90年代，第一次全国防沙治沙工作会议召开，《1991—2000年全国防沙治沙规划纲要》出台，《全国防沙治沙工程》得以全面启动。这一阶段取得的显著成果是北方约有10%的沙漠化土地得到治理、12%的沙漠化土地有所改善、局部地区出现"人进沙退"的新局面[19]。1998年起开始建设的中国荒漠生态系统定位研究网络，已布局涵盖我国8大沙漠、4大沙地、青藏高原高寒区和西南岩溶地区等特殊环境，承担我国荒漠生态系统的定位观测、监测评估、科学研究、示范服务和基地建设等任务[20]。依托该研究网络不仅完成了我国所有的沙漠科考，而且探索了荒漠化综合治理的中国方案，集成4大典型区域的经典模式，制定了相关行业和学科标准[20]。同时，学界已开始注重评价防沙治沙效益，普遍利用长时序的实地监测数据和高精度的遥感影像资料来完成荒漠化监测。2000年伊始，退耕还林还草工程、京津风沙源治理工程试点、重要生态系统保护和修复重大工程等国家重大生态工程先后启动，由此开启了由国家重大生态工程带动荒漠化治理的新高度，取得了用全球6.6%的植被面积贡献了全球25%"增绿"量的辉煌成绩[21]。2013年以来，实施生态文明建设，落实生态文明思想，开展科学精准治沙，实施三北六期工程建设，防沙治沙进入提速增效的推进阶段；其主要方向是战略性防沙治沙管沙用沙，突出成果是实施了"山水工程"——山水林田湖草沙一体化保护和修复工程，生态文明成为最热门的研究主题。

3　防沙治沙重要研究进展

通过梳理防沙治沙近45 a研究成果，将国内防沙治沙主要分为土地沙漠化驱动因素及其机理、防沙治沙措施与模式、治理政策与法律法规、防沙治沙理念演变4方面的研究内容。

3.1　土地沙漠化驱动因素及其机理研究

土地沙漠化的成因、程度及分类一直是防沙治沙研究的热点，也是各区域探索和实践防护林体系建设、沙地农业发展等防沙治沙工作的基本依据。近45 a来，针对沙漠化成因的研究内容从前期的沙尘暴、风蚀、生态环境、水土保持、气候变化向后期土地退化动态、石漠化、环境退化等转变，目标均是摸清沙漠化的形成过程、机理、发展模式与趋势。研究方法包括历史分析与现代研究相结合、宏观研究与微观分析相结合、定性分析与定量研究相结合、理论分析与实验研究相结合等[7-9]。分析已有研

究结果表明,沙漠化的驱动机制主要是自然因素、人为因素以及综合因素。自然因素主要包括地理环境、气候、地球运动等;人为因素主要包括人类不合理利用土地、水、矿产及植被等自然资源、人口与畜生数量增长、过度放牧等;综合因素包括人为因素和自然因素。在局部地区的沙漠化过程中,人文因素可能大于自然因素,也可能自然因素大于人文因素[22]。

沙漠化监测与评估也是一个重要的研究内容。学界对沙漠化的评价与监测早期(2000年以前)通过地面调查来实现,采用的指标有沙土含水量、区域性的植被退化指标、沙漠化状态,优点是准确度高,缺点是在大范围内实施难度大[23]。中期对沙漠化的评价与监测的手段仍然是地面调查,但是评价指标转变为区域性的灌丛沙堆发育程度和土地利用类型等[24]。后期对沙漠化的评价与监测的手段主要是基于遥感技术、无人机技术和人工智能技术的影像分类、植被指标等[25]。同时,学界注重沙漠化的时空动态监测研究。常用的研究手段是通过沙漠野外调查、遥感影像分析、野外调查和遥感技术相结合来计算植被覆盖度,或者通过NDVI、反照率、TGSI和MSAVI等光谱指标的不同组合进行线性回归分析,并利用最佳相关组合构建特征空间,对沙漠化程度进行时空动态监测研究[8]。

3.2 防沙治沙措施与模式研究

技术措施一直是防沙治沙研究的核心内容。学界对防沙治沙技术措施的研究从工程治沙、植物(生物)治沙和化学治沙3个方面展开[26]。工程措施是植物措施的基础与必要条件[27],而主要的工程固沙措施是沙障,因此早期的研究多聚焦于沙障的形状、沙障的材料和沙障技术等方面[28],以及治沙机械装备的研究[29]。随着防沙治沙工作的深入,学界倾向于研发动静结合的固沙方法,融合使用草方格沙障、黏土、砾石等常见的固沙材料与新型的化学材料,再进行植物治沙的技术成为防沙治沙共识[4],形成了一系列行之有效的治理模式[30]。后期的诸多研究关注单项防治技术的集成和创新,根据不同立地条件研发出了特色鲜明的沙漠铁路治沙防护体系、低覆盖度防沙治沙新体系[31-32]。当前研究的热点转变为依据不同气候区和生态经济建设需求,摸索适应不同自然资源禀赋的综合防治方案[33]。

植物(生物)治沙措施方面的研究,一是在不同沙区适生植物种(乔、灌、草)的培育,乔、灌、草结合治理模式方面的探索,以及造林密度、造林树种的选择和尝试[30];二是在生物土壤结皮治沙技术和土壤微生物治沙等领域的探索[34]。使用的评价方法有专家打分法、层次分析法、综合评估法[35]。为筛选最佳恢复效果的生态治理模式,学者们对比研究了不同生态治理模式对植物群落的恢复效果,但多集中于单一模式不同恢复年限的恢复效果[36],主要关注植被恢复和土壤质量的改善[37],通过综合地上植物群落和地下土壤特征的表述来完整的反映生态恢复效果[38]。

发展沙产业,对于沙漠地区经济发展、生态文明建设、人民福祉提高都具有重要意义[39]。学者们研究了沙产业理论、沙产业模式、沙产业发展对策、各区域沙产业发展特征[39]等。使用的方法多是运用熵值法、灰色关联度,或者多种方法相结合的评价分析法[40]。学者们研究认为沙产业是沙区防治沙漠化和发展经济最有效的途径,是"第六次产业革命"的重要组成部分[16]。光伏治沙是近年来国内迅速发展起来的防沙治沙与光伏发电相得益彰的新兴治沙方式,通过充当沙障、调节沙漠地表热力平衡、改善植物生长条件[41],能够有效增加光伏电站区域沙漠生态系统的植物多样性,同时其较高的能量传递效应可能产生可观的经济效益及良好的综合效益,有望形成经济、社会、生态效益均显著的沙漠能源生态圈[42]。此外,学者们探索了多种治沙方式的优化途径,以及多种治沙方式结合的综合治理模式,证明了综合治理模式能够实现生态和经济效益双赢[43]。

3.3 治理政策与法律法规研究

政策既是沙漠化的成因,又是有效防治沙漠化的重要工具。各国家和地区应对沙漠化的首要举措就是制定相应的治理政策,颁布并实施相关法律法规[44]。学界对防沙治沙政策的研究通常从2个方面展开:一是通过技术测量和评估的方式为防沙治沙政策制定与执行提供科学信息,以便人们更好地了解沙漠化过程的成因以及最新态势;二是通过防沙治沙政策的话语呈现来审视政策背后的政治权力博弈与经济社会效益,从而把握住防沙治沙的政策本质,为我们提供了作为一种自然现象的沙漠化背后的非自然要素,比如政府管理、人类活动、权力利益等[45]。针对防沙治沙立法和法律实施效果的

研究，多数通过地区之间和国内外案例分析和比较来开展[46]。构建跨区域、跨国合作的防沙治沙体系是一个较新的研究内容。学者们从跨国环境治理合作困境、跨国环境问题治理的法律对策、国家间防沙治沙现状及成效等进行了较为丰富的研究[47]。国内学者诸多研究表明，在跨国界、跨区域防沙治沙问题上，地区与地区之间、国与国之间不是“零和博弈”，而是一个命运共同体[48]。近年来，人类命运共同体理念在区域联防联治中运用的研究成为研究热点[49]，学界注重对跨国界生态补偿机制及相关法律的研究。

沙区生态补偿政策是世界上许多国家和地区防沙治沙的重要政策手段，许多学者的研究也证实了生态补偿政策对于实现不同经济主体的需求平衡和保证沙漠生态系统服务的持续稳定有重要意义[50]。总体上来说，学者们研究认为不同时期的政策选择和政策工具使用会带来不同的防治结果，因而防沙治沙的政策和手段要根据自然要素和社会经济要素进行动态调整和创新，以提高其治理的生态、经济和社会效益。

3.4 防沙治沙理念演变研究

梳理新中国成立70来年的防沙治沙研究史，可以发现防沙治沙理念的演变是创造这一辉煌的社会主义生态文明建设成就的重要影响因素。借鉴前人的研究成果[51]，本文总结了防沙治沙理念演变的研究。改革开放后我国的荒漠化防治工作进入了恢复发展的新阶段，1978—1992年防沙治沙理念是“退耕还林还草”，通过构筑“三北”防护林体系建设工程等开展大规模防沙治沙实践和研究。1992—2002年我国防沙治沙遵循与国家当前经济社会发展相适应的“可持续发展”理念，通过立法构筑完善的防沙治沙法律体系，推进防沙治沙的工程治理，并积极参与国际治沙、履行全球生态保护义务。2003—2012年我国防沙治沙在“科学发展观”理念指导下，通过建立稳定的投入机制，完善防沙治沙政策扶持体系，形成长效防沙治沙监测机制，巩固生态工程成果。2013年至今，我国防沙治沙在“习近平生态文明思想”指导下获得了深入发展，围绕“金山银山理论”“山水林田湖草沙系统治理”等重要论断，以规划为引领、强化重要节点建设，提出“一带一路”防治荒漠化倡议引领全球荒漠化防治。具体实施中一方面利用多学科综合交叉完善防沙治沙技术体系，一方面重视全球气候变化背景下沙漠资源的可持续利用及其对实现碳中和的巨大潜力，力求“人沙和谐”。

4 防沙治沙当前研究不足与展望

4.1 研究不足

尽管学者们对于防沙治沙的研究在不断深入，但是对比其他研究领域，还存在一些不足：

第一，对流沙快速固定关键技术缺乏更深入的研究。流动沙地治理技术作为我国研究热点之一，研究内容包括典型沙障固沙技术、沙障材料和造型、沙障铺设技术及设备等。分析已有研究成果发现：一是数字化、智能化、低成本和高效率的沙障铺设设备缺乏，现有的草方格铺设机器人等治沙装备的稳定性、适应性等还有待大力提升[29]。二是多种固沙方法在使用时缺少相互借鉴和融合贯通，缺乏对多技术融合固沙方法的研究探索。

第二，对防沙治沙新材料新技术模式研究滞后。是否应用成功的治沙模式是区域防沙治沙的关键所在。探索、总结和梳理区域适宜的沙漠化治理模式一直是我国防沙治沙的研究重点，而寻找新的治沙模式是目前面临的最大科学问题[52]。现有研究多聚焦于同一地区不同治沙模式的比较研究，或者同一治沙模式在不同地区应用成效的比较研究，而忽略了对不同地区不同防沙治沙模式的比较研究，以及不同防沙治沙模式融合的应用研究。此外，还缺少对微生物治沙、光伏治沙模式等新型治沙模式的探索研究，以及缺乏对适应现代农业的防护林模式等造林防沙治沙模式的研究。同时，在实践和研究中存在科学治沙和精准治沙的泛化问题，没有厘清实践和研究中必须优先做到坚持科学治沙，统筹谋划“防风、阻沙、控尘”一体化治理，然后在此基础上追求技术进步，实现精准治沙。而根治我国的沙漠化危害这一生态问题，当前最紧迫的是要切实加大科学治沙的力度，其关键在于加强先进治沙技术创新和推广，建立防沙治沙科技支撑体系，实现精准治沙[53]。

第三，防沙治沙政策机制不完善。政策机制的合理使用有助于把握沙漠化的内在复杂性。目前的研究趋势，注重对防沙治沙政策法规的研究，而弱化政策机制分析、防沙治沙政策工具的使用与研

究，这可能使可持续发展难以实现。此外，有关如何有效提高防沙治沙效果的研究较少，如将政府政治激励与利润激励有效结合的研究相当匮乏。再者，防沙治沙政策机制多从强制性角度进行探讨如何完善和建立生态环境法律体系和生态财政补偿体系，如何构建促进大众积极参与的混合性和自愿性等政策工具及其机制也是需要进一步探讨的问题。

第四，缺少对“三北”工程等生态工程的生物多样性、生态服务功能的评价及价值开发更加全面且深入的研究。防沙治沙生态工程的生态效益和服务评价研究作为国内研究热点之一，研究内容包括区域植被覆盖度变化、生物量、风蚀消减量、固碳量等。分析已有研究发现，缺乏生物多样性保护、生态服务功能动态变化的评价与开发方面的研究。此外，“三北”工程建设中存在的诸如造林树种单一、“一刀切”、人工林退化，在造林、种草和植被自然恢复之间的规划安排缺乏科技支撑，未来科学绿化和生态治理的难度加大等问题[54]，尚待学界深入开展研究。

第五，缺乏沙区高水平保护与沙产业发展相关的耦合研究。沙区生态保护与沙产业发展是相辅相成的，目前的研究注重对沙漠生态系统及固沙林等防沙治沙体系的建设和保护，而弱化沙物质、沙区资源的开发利用，但是发展沙产业是沙区防治沙漠化和发展经济最有效的途径[16]。现有防沙治沙的研究多是单一地从保护或开发的角度进行探讨，而保护和开发相结合的耦合研究较少。此外，相较于其他产业的发展规律，还应关注沙区资源的定量评价。再者，沙产业发展多从局部区域进行探讨，如何解决区域发展不协调和实现跨区域协作也是需要进一步探讨的问题。

4.2 研究展望

第一，积极创新和实践防沙治沙新模式，以促进沙产业全面发展。沙产业作为战略新兴产业，涉及多个学科领域的交叉，在未来的研究中既要加强理论与实践相结合，又要重视多学科的交叉融合。使用高新科学技术是沙产业的首要标志，但是目前沙产业尚未形成广泛应用的、成熟的技术体系，在理论研究上忽略了特殊性且没有把科技发展根植于沙产业发展的生产函数中[39]，因此未来的理论和实践研究要致力于沙产业关键技术的研发，同时探索如何将高效的经营管理机制和高科技的生产流程结合起来，促进沙产业的高质量发展。在此基础上，要尤其重视土地利用及其设计，以及沙物质的开发利用，改变目前我国沙物质开发利用多集中于绿洲、荒漠草原等水分条件较好的区域，研究如何在沙漠和戈壁地区发展光伏发电、生物质能源和生物化工制品等关键技术。此外，考虑到不同治沙模式的技术要点、基本特征及实施效果差异显著，而要指导不同沙化地区选择适宜的沙漠化防治路径，未来研究要重视流沙治理关键技术模式、适应现代农业的防护林模式，特别是光伏治沙模式等与新能源开发利用相结合的沙漠能源利用与防沙治沙融合发展模式。当然，还需要深入研究风成沙的直接使用，以及各区域防沙治沙到用沙护沙的实现路径，大力推进“山水林田湖草沙”系统治理[53]。

第二，加强治沙装备研发，以提升防沙治沙经济、生态和社会效率。铺设草方格沙障是一种性能优良的工程治沙技术措施，但是长期以来我国草方格沙障靠人工铺设，效率低下、劳动强度大、用工成本高[29]。多年来尽管科学家们已经研发了大型立体固沙车、小型草方格铺设机械装备等，但这些机器设备或生产成本高，或适应性能差，或作业效率低[29]。为此，研发稳定性高、适应性强，能够利用散长草铺设的数字化、智能化草方格铺设机械设备等治沙装备已经迫在眉睫。未来要促进防沙治沙研究中形成政企学研合作机制，开展联合攻关，鼓励“科技支撑、创新驱动”，加快新技术开发和新产品制造应用。

第三，监测评价人工固沙林的生态服务功能，深入开展沙漠生态系统生物多样性保护研究。防沙治沙工程的实施改善了生态环境、提升了生态服务功能，但是相关的生态服务功能评价，以及林下经济的开发与利用方面的研究和实践还相当匮乏，未来研究需要注重防沙治沙工程的高水平保护技术与产业发展方面的研究，以期充分挖掘防沙治沙的生态服务功能，实现沙漠生态系统的生物多样性保护和可持续发展。

第四，强化政策机制研究，通过数字模拟研究人类活动影响防沙治沙的动态变化规律。数10 a间，我国通过实施演变过程为“起步形成—全面推进—快速发展—提升转变”的国家层面政策[55]，实现了土地沙化的逆转，但是防沙治沙形势依然严峻[56]。此

外,防沙治沙是一个跨国家、跨洲际的全球性问题,需要在全球范围构建防沙治沙治理体系。因此,开展跨国、跨洲际防沙治沙政策的研究和实践,构建多元联动的工程技术模式、完善生态补偿机制及推进沙产业发展,以应对防沙治沙工作面临的新挑战是我国学者未来研究的必然走向。利用日新月异的人工智能技术进行数字模拟和动态监测,深入研究人类活动与自然因素对防沙治沙的影响及其驱动机制,是在全球范围内构建更完善的荒漠化防治体系、确保沙漠生态系统可持续利用的重要途径。

参考文献(References)

[1] Reynolds J F, Smith D M S, Lambin E F, et al. Global desertification: Building a science for dryland development[J]. Science, 2007, 316(5826): 847-851.

[2] Yang X, Zhang K, Jia B, et al. Desertification assessment in China: An overview[J]. Journal of Arid Environments, 2005, 63(2): 517-531.

[3] 卢琦, 雷加强, 李晓松, 等. 大国治沙: 中国方案与全球范式[J]. 中国科学院院刊, 2020, 35(6): 656-664. [Lu Qi, Lei Jiaqiang, Li Xiaosong, et al. China's combating desertification: National solutions and global paradigm[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2020, 35(6): 656-664.]

[4] 包岩峰, 杨柳, 龙超, 等. 中国防沙治沙60年回顾与展望[J]. 中国水土保持科学, 2018, 16(2): 144-150. [Bao Yanfeng, Yang Liu, Long Chao, et al. Review of 60 years combating desertification in China and prospects on it[J]. Science of Soil and Water Conservation, 2018, 16(2): 144-150.]

[5] Bryan B A, Gao L, Ye Y Q, et al. China's response to a national land-system sustainability emergency[J]. Nature, 2018, 559(7713): 193-204.

[6] Cheng L L, Lu Q, Wu B, et al. Estimation of the costs of desertification in China: A critical review[J]. Land Degradation & Development, 2018, 29(4): 975-983.

[7] Zhu Z, Wang T. Trends of desertification and its rehabilitation in China[J]. Desertification Control Bulletin, 1993(22): 27-30.

[8] Han X Y, Jia G P, Yang G, et al. Spatiotemporal dynamic evolution and driving factors of desertification in the Mu Us Sandy Land in 30 years[J]. Scientific Reports, 2020, 10(1): 21734, doi: 10.1038/s41598-020-78665-9.

[9] Bao Y S, Cheng L L, Bao Y F, et al. Desertification: China provides a solution to a global challenge (Review)[J]. Frontiers of Agricultural Science and Engineering, 2017, 4(4): 402-413.

[10] 张克存, 屈建军, 鱼燕萍, 等. 中国铁路风沙防治的研究进展[J]. 地球科学进展, 2019, 34(6): 573-583. [Zhang Kecun, Qu Jianjun, Yu Yanping, et al. Progress of research on wind-blown sand prevention and control of railways in China[J]. Advances in Earth Science, 2019, 34(6): 573-583.]

[11] 赵洋, 潘颜霞, 苏洁琼, 等. 中国干旱区沙化土地绿色环保治理技术综述[J]. 中国沙漠, 2021, 41(1): 195-202. [Zhao Yang, Pan Yanxia, Su Jieqiong, et al. Research status and development trend of green and environmental protection technologies on desertification land prevention in arid region of China[J]. Journal of Desert Research, 2021, 41(1): 195-202.]

[12] 国家林业和草原局科学技术司. 中国陆地生态系统质量定位观测研究报告-2020-荒漠[M]. 北京: 中国林业出版社, 2021. [Department of Science and Technology, National Forestry and Grassland Administration. Research report on positioning observation of terrestrial ecosystem quality in China-2020-Desert[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2021.]

[13] 朱玲, 朱文莉. 国内外防治土地荒漠化与生态修复研究综述[J]. 西部人居环境学刊, 2020, 35(2): 97-103. [Zhu Ling, Zhu Wenli. Domestic and overseas review of land desertification control and ecological restoration[J]. Journal of Human Settlements in West China, 2020, 35(2): 97-103.]

[14] Lu Q, Xiao Y, Lu Y J. Employment of algae-based biological soil crust to control desertification for the sustainable development: A mini-review[J]. Algal Research, 2022, 65: 102747, doi: 10.1016/j.algal.2022.102747.

[15] 韩雪莹, 王涛, 杨文斌, 等. 中国沙障研究进展与热点分析: 基于Vosviewer和Citespace的图谱量化分析[J]. 中国沙漠, 2021, 41(2): 153-163. [Han Xueying, Wang Tao, Yang Wenbin, et al. Research progress and hotspot analysis of sand barrier in China Quantitative analysis of atlas based on Vosviewer and Citespace [J]. Journal of Desert Research, 2021, 41(2): 153-163.]

[16] 张晓琴, 苏志珠, 马义娟, 等. 基于CNKI期刊文献数据库的沙产业研究进展分析[J]. 中国沙漠, 2021, 41(3): 56-65. [Zhang Xiaoqin, Su Zhizhu, Ma Yijuan, et al. Research progress of deserticulture based on CNKI journal literature database[J]. Journal of Desert Research, 2021, 41(3): 56-65.]

[17] 王新友, 王玉娇. 耕地撂荒的文献计量分析: 脉络和展望[J]. 干旱区地理, 2023, 46(5): 804-813. [Wang Xinyou, Wang Yujiao. Bibliometric analysis of cultivated land abandonment: Context and prospect[J]. Arid Land Geography, 2023, 46(5): 804-813.]

[18] 哈斯, 盖志毅. 基于政策过程的我国荒漠化治理研究述评[J]. 科学管理研究, 2021, 39(2): 29-36. [Ha Si, Gai Zhiyi. Review on the governance of desertification based on policy process in China [J]. Scientific Management Research, 2021, 39(2): 29-36.]

[19] 王涛, 赵哈林. 中国沙漠科学的五十年[J]. 中国沙漠, 2005, 25(2): 145-165. [Wang Tao, Zhao Halin. Fifty-year history of China desert science[J]. Journal of Desert Research, 2005, 25(2): 145-165.]

[20] 卢琦, 李永华, 崔向慧, 等. 中国荒漠生态系统定位研究网络的建设与发展[J]. 中国科学院院刊, 2020, 35(6): 779-793. [Lu Qi, Li Yonghua, Cui Xianghui, et al. Establishment and development

of long-term desert ecosystem research network in China[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2020, 35(6): 779−793.]

[21] 崔桂鹏, 肖春蕾, 雷加强, 等. 大国治理: 中国荒漠化防治的战略选择与未来愿景[J]. 中国科学院院刊, 2023, 38(7): 943−955. [Cui Guipeng, Xiao Chunlei, Lei Jiaqiang, et al. China's governance: Strategy choice and future vision for combating desertification[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2023, 38(7): 943−955.]

[22] 要永在. 内蒙古荒漠化驱动力及水土保持研究[J]. 中国农业资源与区划, 2018, 39(2): 13−17, 87. [Yao Yongzai. Research on the driving force of desertification and soil and water conservation in Inner Mongolia[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2018, 39(2): 13−17, 87.]

[23] UNCCD. United Nations convention to combat desertification in countries experiencing serious drought and/or desertification, particularly in Africa[R]. Paris, 1994.

[24] 赵媛媛, 高广磊, 秦树高, 等. 荒漠化监测与评价指标研究进展[J]. 干旱区资源与环境, 2019, 33(5): 81−87. [Zhao Yuanyuan, Gao Guanglei, Qin Shugao, et al. Desertification detection and the evaluation indicators: A review[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2019, 33(5): 81−87.]

[25] 王圆. 基于无人机高光谱遥感及人工智能的荒漠化草原地物分类研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2023. [Wang Yuan. Research on terrain classification in the desert steppe based on UAV hyperspectral remote sensing and artificial intelligence[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2023.]

[26] Wang T, Xue X, Zhou L, et al. Combating aeolian desertification in northern China[J]. Land Degradation & Development, 2015, 26(2): 118−132.

[27] 孙保平. 荒漠化防治工程学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2000. [Sun Baoping. Desertification control engineering[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2000.]

[28] 赖俊华, 张凯, 王维树, 等. 化学固沙材料研究进展及展望[J]. 中国沙漠, 2017, 37(4): 644−658. [Lai Junhua, Zhang Kai, Wang Weishu, et al. Research advances and prospect in chemical sand-fixing materials[J]. Journal of Desert Research, 2017, 37(4): 644−658.]

[29] 余伟军, 孙步功, 张鹏, 等. 我国固沙草方格机械装备的研究现状与展望[J]. 林业机械与木工设备, 2023, 51(6): 9−15, 20. [Yu Weijun, Sun Bugong, Zhang Peng, et al. Research status and prospect of checkered machinery equipment of straw checkerboard barrier[J]. Forestry Machinery & Woodworking Equipment, 2023, 51(6): 9−15, 20.]

[30] 赵廷宁, 丁国栋, 王秀茹, 等. 中国防沙治沙主要模式[J]. 水土保持研究, 2002, 9(3): 118−123. [Zhao Tingning, Ding Guodong, Wang Xiuru, et al. Main models to combat desertification in China[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2002, 9(3): 118−123.]

[31] 李生宇, 雷加强, 徐新文, 等. 中国交通干线风沙危害防治模式及应用[J]. 中国科学院院刊, 2020, 35(6): 665−674. [Li Shengyu, Lei Jiaqiang, Xu Xinwen, et al. Patterns of blown-sand hazard control for traffic arteries in China and its application[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2020, 35(6): 665−674.]

[32] 杨文斌, 王涛, 熊伟, 等. 低覆盖度治沙理论的核心水文原理概述[J]. 中国沙漠, 2021, 41(3): 75−80. [Yang Wenbing, Wang Tao, Xiong Wei, et al. Overview of hydrological principle of low vegetation coverage sand control[J]. Journal of Desert Research, 2021, 41(3): 75−80.]

[33] 张杨, 杨洋, 江平, 等. 山水林田湖草生命共同体的科学认知、路径及制度体系保障[J]. 自然资源学报, 2022, 37(11): 3005−3018. [Zhang Yang, Yang Yang, Jiang Ping, et al. Scientific cognition, path and governance system guarantee of the life community of mountains, rivers, forests, fields, lakes and grasses[J]. Journal of Natural Resources, 2022, 37(11): 3005−3018.]

[34] 赵燕翘, 连煜超, 许文文, 等. 中国人工蓝藻结皮研究进展[J]. 中国沙漠, 2023, 43(5): 214−222. [Zhao Yanqiao, Lian Yuchao, Xu Wenwen, et al. Research progress and prospect of artificial cyanobacteria crusts in China[J]. Journal of Desert Research, 2023, 43(5): 214−222.]

[35] 任余艳, 韩易良, 刘朝霞, 等. 毛乌素沙地立地类型划分与抗逆树种筛选[J]. 干旱区资源与环境, 2021, 35(1): 135−140. [Ren Yuyan, Han Yiliang, Liu Zhaoxia, et al. Classification of Mu Us Sandy Land stands and the election of resistant tree species[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2021, 35(1): 135−140.]

[36] 胡金娇. 川西北沙地三种典型生态恢复模式对植被-土壤系统的影响[D]. 成都: 西南民族大学, 2021. [Hu Jinjiao. Influence of three typical ecological restoration measures on vegetation-soil system in sandy land of northwest Sichuan[D]. Chengdu: Southwest Minzu University, 2021.]

[37] Yuan J Y, Ouyang Z Y, Zheng H, et al. Effects of different grassland restoration approaches on soil properties in the southeastern Horqin Sandy Land, northern China[J]. Applied Soil Ecology, 2012, 61: 34−39.

[38] Liao C R, Li H D, Lü G P, et al. Can ecological restoration improve soil properties and plant growth in valley-slope sand dunes on southern Tibetan Plateau?[J]. Physical Geography, 2021, 42(2): 143−159.

[39] 王岳, 刘学敏, 哈斯·额尔敦, 等. 中国沙产业研究评述[J]. 中国沙漠, 2019, 39(4): 27−34. [Wang Yue, Liu Xuemin, Eerdun Hasi, et al. Review on deserticulture research in China[J]. Journal of Desert Research, 2019, 39(4): 27−34.]

[40] 王金玉, 雷军, 黄佛君, 等. 基于CiteSpace的沙产业研究进展[J]. 水土保持通报, 2022, 42(6): 293−303. [Wang Jinyu, Lei Jun, Huang Fojun, et al. Research progress of deserticulture based on CiteSpace[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(6): 293−303.]

[41] 姚泽, 刘世增, 詹科杰, 等. 沙漠光伏的热力平衡效应及其防沙治沙的生态学意义[J]. 中国农业科技导报, 2022, 24(1): 98−

105. [Yao Ze, Liu Shizeng, Zhan Kejie, et al. Heat balance effect and its ecological significance for desert control of photovoltaic in desert[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2022, 24(1): 98-105.]

[42] 肖建华, 司建华, 刘淳, 等. 沙漠能源生态圈概念、内涵及发展模式[J]. 中国沙漠, 2021, 41(5): 11-20. [Xiao Jianhua, Si Jianhua, Liu Chun, et al. Concept, connotation and development model of desert energy ecosphere[J]. Journal of Desert Research, 2021, 41(5): 11-20.]

[43] 金旻, 贾志清, 卢琦. 浑善达克沙地防沙治沙综合治理模式及效益评价——以多伦县为例[J]. 林业科学研究, 2006, 19(3): 321-325. [Jin Min, Jia Zhiqing, Lu Qi. Integrated desert control pattern in Hunshandaka Sand Land and its benefit evaluation: A case study of Duolun County[J]. Forest Research, 2006, 19(3): 321-325.]

[44] 哈斯. 改革开放以来中国荒漠化治理政策演变: 历程、动因与效果研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2022. [Ha Si. Evolution of China's desertification-governance policies since the reform and opening-up: Process, drivers and effect evaluation[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2022.]

[45] 王睿, 杨国靖. 库布齐沙漠生态治理的生态经济系统耦合分析[J]. 干旱区地理, 2020, 43(5): 1391-1400. [Wang Rui, Yang Guojing. Coupling analysis of eco-economic system for ecological management in the Hobq Desert[J]. Arid Land Geography, 2020, 43(5): 1391-1400.]

[46] 陈德敏, 胡耘通. 中国防治荒漠化的法律应对——来自UNCCD的启示[J]. 重庆大学学报(社会科学版), 2010, 16(5): 67-71. [Chen Demin, Hu Yuntong. The legal measures about prevention and control of desertification: From inspiration of UNCCD[J]. Journal of Chongqing University (Social Science Edition), 2010, 16(5): 67-71.]

[47] 张彪, 王爽, 李庆旭, 等. 基于防风固沙服务空间流动的区域关联度: 以京津风沙源治理工程区为例[J]. 资源科学, 2020, 42(5): 969-979. [Zhang Biao, Wang Shuang, Li Qingxu, et al. Regional correlation degree derived from the sand-fixing service spatial flow: A case study of the Beijing-Tianjin sandstorm control engineering area[J]. Resources Science, 2020, 42(5): 969-979.]

[48] 陈紫荆. 人类命运共同体视域下中蒙联合防沙治沙法律对策研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古财经大学, 2023. [Chen Zijing. Research on legal countermeasure of joint prevention and control of desertification between China and Mongolia under the perspective of a community with a shared future for mankind[D]. Hohhot: Inner Mongolia University of Finance and Economics, 2023.]

[49] 杨振姣. 人类命运共同体视域下北极海洋生态安全治理机制研究[J]. 理论学刊, 2022(3): 60-68. [Yang Zhenjiao. Study on the governance mechanism of arctic marine ecological security from the perspective of community of human destiny[J]. Theory Journal, 2022(3): 60-68.]

[50] Li D J, Xu D Y, Wang Z Y, et al. Ecological compensation for desertification control: A review[J]. Journal of Geographical Sciences, 2018, 28(3): 367-384.

[51] 王婕. 生态文明视域下我国沙地生态治理研究——以毛乌素沙地为例[D]. 成都: 电子科技大学, 2021. [Wang Jie. Study on ecological management of sandy land in my country from the perspective of ecological civilization: Take the Mu Us Sandy Land as an example[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2021.]

[52] 常兆丰. 甘肃河西60年防沙治沙的问题及出路[J]. 干旱区资源与环境, 2019, 33(9): 152-159. [Chang Zhaofeng. Problems and solutions to desertification combating in the Hexi, Gansu for 60 years[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2019, 33(9): 152-159.]

[53] 钱贵霞, 王晓欣, 李武, 等. 中国从防沙治沙到管沙用沙的演变过程与实现路径[J]. 应用生态学报, 2024, 35(1): 8-16. [Qian Guixia, Wang Xiaoxin, Li Wu, et al. Evolution and implementation pathways from desertification prevention and control to sandy land management and use in China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2024, 35(1): 8-16.]

[54] 卢琦, 肖春蕾, 包英爽, 等. 打赢"三北"攻坚战,再造一个"新三北": 实现路径与战略规划[J]. 中国科学院院刊, 2023, 38(7): 956-965. [Lu Qi, Xiao Chunlei, Bao Yingshuang, et al. Implementation path and strategic planning of winning the battle of "Three-North" and reconstructing "New Three-North"[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2023, 38(7): 956-965.]

[55] 周颖, 杨秀春, 徐斌, 等. 我国防沙治沙政策的演进历程与特征研究[J]. 干旱区资源与环境, 2020, 34(1): 123-131. [Zhou Ying, Yang Xiuchun, Xu Bin, et al. Evolution and characteristics of China's national defense policies for sand control[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2020, 34(1): 123-131.]

[56] 周颖, 杨秀春, 金云翔, 等. 中国北方沙漠化治理模式分类[J]. 中国沙漠, 2020, 40(3): 106-114. [Zhou Ying, Yang Xiuchun, Jin Yunxiang, et al. Classification of the desertification control models in north China[J]. Journal of Desert Research, 2020, 40(3): 106-114.]

Citespace-based literature visualization analysis of the hotspots in the research on desertification prevention and control over the last 45 years and its future prospect

WANG Xinyou[1], MA Quanlin[2]

(1. Gansu Open University, Lanzhou 730030, Gansu, China; 2. Gansu Research Academy of Forestry Science and Technology, Lanzhou 730030, Gansu, China)

Abstract: Desertification prevention and control is the main direction of implementation of China's Three-North Shelter Forest Program (TNSFP) and is the key measure toward building a strong ecological shield in western China. To promote the research on the key techniques in desertification prevention and control, and support comprehensive prevention and control, and construct key ecological projects such as TNSFP, the existing findings in this field over 45 years since the implementation of TNSFP were reviewed by using Citespace and traditional literature induction. In addition, the overall characteristics, hotspot evolution, existing problems, and lacunae in the relevant literature were analyzed. Several conclusions were drawn. (1) The number of Chinese and English language papers on desertification prevention and control has been increasing continuously, and its international influence has been gradually enhanced. Such research is characterized by its multidisciplinary and cross-cutting nature. (2) During the last 45 years, such research has gone through three stages: 1978—2000, 2001—2012, and 2013—2023. In the first stage, the focus was on the causes of desertification and the dynamics of land degradation, and the technical model and countermeasures of desertification control. In the second stage, the focus was on ways to effectively implement desertification prevention and control via artificial sand fixation and afforestation. The third stage dealt with the sustainable development of desertification control, such as industrialized desertification control and natural restoration. (3) The research content mainly covers the driving factors and mechanism of desertification, control measures and models, policies and legal regulations, and changes in the ideas on the control of desertification. (4) Research on the causes of desertification has changed from qualitative analysis to qualitative and quantitative analysis. Monitoring of desertification has changed from a local to a cross-regional, cross-national, and cross-continental process and from a static to a dynamic and real-time process. The technical mode of desertification control changed from comparative research to comprehensive applied research. The focus has shifted from using a single technique to integrating multiple techniques and from only attending to windproof and sand-fixing benefits to noting their comprehensive effects. Ideas regarding desertification prevention and control are affected by economic, social, and ecological factors, and their evolutionary route encompasses replacing crops with trees or grass, working toward sustainable development, adopting a scientific approach to development, and applying Xi Jinping's ecological thoughts. (5) Lastly, the current research deals with the rapid fixation of quicksand, new materials and techniques (models) for desertification control, biodiversity protection, realizing the value of ecological services, sand industry development and its policies, and so on. Future research should explore land use and its design, research and development of desertification control equipment and techniques, service function evaluation and exploration, policy improvement, and innovations in the key techniques for desertification control and promotion of these innovations.

Key words: desertification prevention and control; desertification combating; Citespace; hot spot evolution; Three-North Shelter Forest Program(TNSFP)